



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

## **ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY**

ENERGY USE OF BIOMASS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**PETR ŠENOVSKÝ**

**VEDOUcí PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. MAREK BALÁŠ, Ph.D.**

BRNO 2012



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Petr Šenovský

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Energetické využití biomasy**

v anglickém jazyce:

### **Energy use of biomass**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výroba elektrické a tepelné energie se v poslední době stále častěji obrací na alternativní zdroje, které by se daly energeticky využít. Biomasa je v České republice jeden z velice perspektivních zdrojů. Práce je věnována různým technologiím, které slouží k transformaci biomasy na elektrickou energii a teplo.

Cíle bakalářské práce:

Úkolem práce je rešerše popisující jednotlivé technologie využívající biomasu, zkoumající jejich výhody a nevýhody a jejich základní ekonomické porovnání.

Seznam odborné literatury:

Malat'ák, J., Vaculík, P.: Biomasa pro výrobu energie. ČZU v Praze, 2008, ISBN 978-80-213-1810-6

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marek Baláš, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 24.10.2011

L.S.

---

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

## **Abstrakt**

Cílem bakalářské práce je vypracování rešerše na téma energetické využití biomasy. První část práce popisuje vznik, vlastnosti a možnosti získání biomasy. V druhé části se popisují především jednotlivé technologie přeměny biomasy za účelem získávání energie. Současně jsou uvedeny i základní výhody a nevýhody dané technologie.

## **Abstract**

This bachelor thesis is aimed at the theme of energetic usage of biomass. First part describes characteristics and possibilities of obtaining biomass and its deriving. In the second part particular technologies of biomass conversion and getting energy from biomass are described. The basic advantages and disadvantages of each technologies are mentioned as well.

## **Klíčová slova**

Biomasa, spalování, zplyňování, pyrolýza, fermentace

## **Key words**

Biomass, combustion, gasification, pyrolysis, fermentation

## **Bibliografická citace**

ŠENOVSKÝ, P. *Energetické využití biomasy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Baláš, Ph.D.

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci na téma: *Energetické využití biomasy* zpracoval samostatně. Veškeré prameny a zdroje informací, které jsem použil k sepsání této práce, jsou uvedeny v seznamu použitých pramenů a literatury.

Jméno a příjmení: Petr Šenovský

Podpis: .....

V Brně dne 23.5.2012

## **Poděkování**

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Marku Balášovi, Ph.D. za cenné rady a čas strávený při tvorbě bakalářské práce. Rád bych poděkoval také své přítelkyni a rodině za podporu při studiu.



# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Definice biomasy, její vznik a využití .....</b>	<b>12</b>
2.1	Fotosyntéza – vznik rostlinné biomasy .....	12
2.2	Možnosti získání biomasy k energetickým účelům.....	13
2.3	Možnosti a způsoby využití biomasy .....	14
<b>3</b>	<b>Vlastnosti a využití biomasy k energetickým účelům .....</b>	<b>15</b>
3.1	Vlhkost a výhřevnost .....	15
3.2	Vlastnosti popela .....	17
<b>4</b>	<b>Technologie zpracování biomasy k energetickým účelům .....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>Technologie spalování .....</b>	<b>19</b>
5.1	Spalování na roštu .....	21
5.2	Spalování se spodním přívodem paliva .....	22
5.3	Spalování ve fluidní vrstvě .....	22
5.4	Zhodnocení procesu spalování .....	23
5.5	Investiční náklady vybraných projektů.....	23
<b>6</b>	<b>Zplyňování biomasy .....</b>	<b>24</b>
6.1	Rozdělení zplyňovačů podle zdroje tepla pro zplyňování .....	24
6.2	Rozdělení zplyňovačů podle typu konstrukce reaktoru.....	25
6.3	Fluidní zplyňování .....	26
6.4	Zhodnocení procesu zplyňování .....	27
<b>7</b>	<b>Pyrolýza.....</b>	<b>28</b>
7.1	Průmyslové využití procesu pyrolýzy .....	28
7.2	Rychlá pyrolýza – zkapalňování.....	28
7.3	Pomalá pyrolýza – karbonizace .....	29
7.4	Zhodnocení procesu pyrolýzy .....	29
<b>8</b>	<b>Anaerobní fermentace.....</b>	<b>30</b>
8.1	Průběh anaerobního procesu.....	30
8.2	Technologie „mokré“ fermentace.....	31
8.2.1	Zhodnocení procesu „mokré“ fermentace .....	32
8.3	Technologie „suché“ fermentace .....	32
8.3.1	Zhodnocení procesu „suché“ fermentace .....	33
8.4	Investiční náklady vybraných projektů.....	33

<b>9</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>34</b>
	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>35</b>
	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>38</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>38</b>
	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>39</b>

## 1 Úvod

Člověk pro své vlastní účely využívá biomasu již odedávna. V poslední době se čím dál více začínají vyvíjet a využívat technologie, které jsou schopny přeměnit jakoukoliv biomasu k energetickým účelům. Jde o snahu alespoň částečně nahradit fosilní paliva, jejichž zásoby při stoupajícím trendu jsou odhadovány na několik stovek let. I přesto pro energetický obor představují fosilní paliva stále hlavní zdroj energie.

Technologie přeměňující biomasu k energetickým účelům mají příznivý vliv i na životní prostředí. Vedou ke snižování emisí skleníkových plynů, které mají za následek oteplování planety Země, což vede ke klimatickým změnám, které jsou doprovázeny živelnými pohromami.

Obnovitelné zdroje představují v České republice především energetické využití větru, biomasy, vody a sluneční energie. S těmito zdroji jsou ovšem spojené nemalé počáteční investiční náklady, které jsou kompenzovány lacině získanou energií. Částečně jde i o určitou energetickou nezávislost na cizích zdrojích.

## 2 Definice biomasy, její vznik a využití

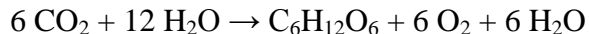
Biomasa je definována jako organická hmota, která je vytvořena primárně rostlinami na bázi fotosyntézy. Z hlediska bioenergetiky lze biomasu popsat jako substance biologického původu, zahrnující především pěstování rostlin v zemědělské půdě, na vodních plochách neboli hydroponicky, hmotu živočišného původu, vedlejší organické produkty a organické odpady. Z toho vyplývá základní rozdělení z hlediska využívání k energetickým účelům na biomasu záměrně získávanou jako výsledek výrobní činnosti nebo se jedná o užití odpadů z potravinářské, lesní a agrární výroby, z komunálního hospodaření, z údržby a péče o kulturní krajinu.

Pod těmito pojmy si označujeme rostlinnou, případně živočišnou biomasu pro energetické účely jako obnovitelný zdroj energie, který vznikl řádově v několika letech. U materiálu, jako je uhlí, ropa a zemní plyn, docházelo k ukládání sluneční energie před dávnou dobou, a proto nemůže být považován za biomasu [1], [2].

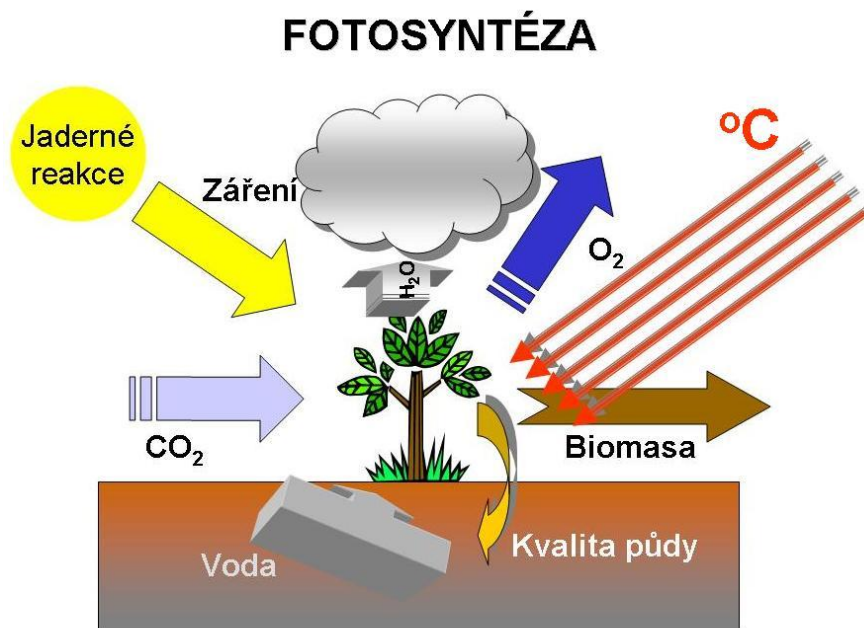
### 2.1 Fotosyntéza – vznik rostlinné biomasy

Fotosyntéza je jedna z nejdůležitějších chemických reakcí, při které vzniká rostlinná biomasa. Během této reakce odebírají rostliny z atmosféry oxid uhličitý, který pomocí zeleného barviva chlorofylu a energie slunečního záření redukuje za vzniku glukózy a řady složitých organických sloučenin, nezbytných pro jejich život. Odpadní produkt fotosyntézy je kyslík, vypuštěný do atmosféry [2].

**Celkový průběh fotosyntézy shrnuje rovnice:**



Oxid uhličitý + voda → sluneční energie, chlorofyl → cukr + kyslík + voda



*Obr. 1 Průběh fotosyntézy[4]*

Pro zhodnocení využitelného potenciálu zdroje energie je velmi důležité vědět, jaká je účinnost zachycení, přeměny a uchování sluneční energie ve formě biomasy. Rostliny nedokážou využít veškeré dopadající sluneční záření. Část záření, která je pohlcena zelenými částmi rostlin se nazývá absorbované fotosynteticky aktivní záření, zbylé záření odráží nebo jimi prochází. Při normálním slunečním světle se pohybuje maximální účinnost fotosyntézy kolem 13 %.

Rostliny k růstu a produkci biomasy potřebují kromě světla a oxidu uhličitého další látky. Nezbytně důležité jsou také minerální látky (získávané hnojením), dostatek vody a přiměřená teplota. Množství uhlíku přeměněného rostlinou z atmosférického oxidu uhličitého na biomasu, se nazývá čistá primární produkce. Jde o údaj k posouzení vhodnosti rostliny z hlediska výnosu biomasy. Všeobecně platí, že primární produkce každé rostliny má svůj limit, přes který se nedosáhne zvýšením produkce koncentrace oxidu uhličitého, zvýšením intenzity slunečního záření ani větším zavlažováním. Ovšem každá rostlina je závislá na vlastní režii, při které spotřebují část energie pro sebe, nemůžou růst po celý rok, což se projevuje výrazně nižší konečnou účinností tvorby biomasy [2].

## 2.2 Možnosti získání biomasy k energetickým účelům

Pro získávání energie se využívá [5]:

### a) Biomasa cíleně pěstovaná k tomuto účelu:

- rychle rostoucí dřeviny (vrby, topoly, olše a další stromové a keřovité rostliny), jsou dřeviny s hmotnostním přírůstkem výrazně převyšující průměrný hmotnostní přírůstek ostatních dřevin a s krátkou dobou růstu,
- rychle rostoucí byliny (triticale, šťovík, energetické trávy) jsou rostliny s nedřevnatým stonkem, při jejich obhospodařování lze použít podobných technologických postupů jako u běžných zemědělských plodin, vyznačují se krátkým vegetačním obdobím,
- cukrová třtina, cukrová řepa, obilí a brambory slouží pro výrobu etylalkoholu,
- olejniny (řepka olejná) pro výrobu surových olejů.

### b) Biomasa odpadní:

- rostlinné zbytky ze zemědělské primární výroby, zbytky po sklizni (sláma kukuřice, řepky, obilnin),
- odpady z živočišné výroby, exkrementy hospodářských zvířat, kejda a odpady mléčnic,
- organické odpady potravinářských výrob, odpady z výroben na skladování a zpracování živočišné a rostlinné odpady, kaly z odpadních vod venkovských sídel.

## 2.3 Možnosti a způsoby využití biomasy

Lze rozdělit do následujících skupin [2]:

### *Biomasa jako potrava*

Jedná se o nejstarší a nejdůležitější využití biomasy pro potřebu potravy lidí a zvířat. Nicméně, takovéto využití biomasy patří do oboru potravinářství a zemědělství, což není obsahem této bakalářské práce. Přesto je důležité poznamenat, že mnohé metody pro pěstování, úpravu a zpracování plodin určených pro výrobu potravy a krmiv, byly a jsou uplatněny při pěstování biomasy pro energetické účely.

### *Využití biomasy pro pohon dopravních prostředků*

S rostoucím počtem dopravních prostředků v ČR je spojena zvyšující se spotřeba mechanické energie ve formě paliv, které činí přibližně pětinu spotřeby celkové energie. Prudký nárůst v posledních letech vedl ke zdvojnásobení cen pohonných hmot a maziv. Skutečný problém představují země, z nichž ropu dovážíme. Jejich potenciální nestabilita nezaručuje, že dodávky surovin budou plynulé a spolehlivé, z tohoto důvodu se snažíme míru závislosti snížit pěstováním biomasy.

Možností využití biomasy pro potřeby dopravy je velmi široké, ale prakticky lze využívat jen některé. Základním faktorem je, že moderní spalovací motor, používaný u dopravních prostředků, má vysoké nároky na kapalné nebo plynné palivo. Tyto požadavky vyžadují náklady jak finanční, energetické tak technologické. V zásadě je pro pohon spalovacích motorů nejvýhodnější ta biomasa, kterou lze přeměnit na etanol (kvasný líh), metanol (dřevní líh), rostlinné oleje atd.

### *Biomasa jako zdroj tepla*

Dá se říct, že jde o nejvýznamnější využití biomasy, kterou spotřebováváme k výrobě tepla, na ohřev vody nebo vytápění v domech. S vysokou účinností můžeme teoreticky přeměnit jakoukoli formu energie. Nejjednodušší způsob výroby tepla z biomasy je spalování.

### *Biomasa jako zdroj energie pro výrobu elektřiny*

Pro výrobu elektrické energie v českých elektrárnách se biomasa spaluje v kotlích společně s uhlím. Ovšem v posledních letech přibýly elektrárenské bloky, které spalují pouze biomasu. Jestliže je hlavním cílem snížení úniku emisí oxidu uhličitého do atmosféry, jde o rozumné řešení. Na druhou stranu má elektrárna vysokou spotřebu a může dojít k nedostatku biomasy v jejím okolí.

### *Biomasa jako surovina pro průmysl*

Podobně jako v případě dopravy může rozumné využití biomasy nahradit ve stavebnictví nebo průmyslové výrobě značné množství plynu, elektřiny nebo ropy. V takovýchto případech lze uvažovat využívání papírových obalů místo polyethylenu, rostlinných vláken jako tepelná izolace a mnoha dalších.

### 3 Vlastnosti a využití biomasy k energetickým účelům

Způsoby využívání biomasy pro energetické účely určují její fyzikální a chemické vlastnosti. Velmi důležitý parametr je obsah sušiny v biomase neboli vlhkost. Biomasa s hmotnostním podílem 50 % sušiny tvoří rozhraní mezi suchými a mokkými procesy. Při existenci více způsobů úpravy biomasy pro energetické využití, převládá v praxi termochemická přeměna biomasy (spalování) u suchých procesů a biochemická přeměna biomasy (výroba bioplynu anaerobní fermentací) u mokkých procesů. Z ostatních způsobů dominuje fyzikální a chemické přeměny biomasy (výroba metylesteru kyselin bioolejů) [1].

V poslední řadě je důležité při zpracování biomasy získávání odpadního tepla z kompostování, anaerobním čištěním odpadních vod apod.

**Tab. 1** Vlastnosti a rozsah složení biomasy určené ke spalování [3]

Obsah vody	10–70 %
Výhřevnost	5–20 MJ/kg
Obsah popela	1–8 %
Obsah dusíku	0.1–2 %
Obsah síry	0,01–0,3 %
Obsah Na a K	0–2 %
Obsah chlóru	0–0,2 %

#### 3.1 Vlhkost a výhřevnost

Biomasa s minimálním množstvím vody se v přírodě prakticky nevyskytuje. Jednu z největších vlhkostí mají čerstvě pokácené dřeviny, což je asi 55 %. V závislost na době sklizně, materiálu biomasy, době skladování a formě potřebného ošetření je obsah vlhkosti v biomase rozdílný. Doporučené hodnoty vlhkosti se pohybují pod 30 % a optimální hodnoty se pohybují do 20 %. U každé technologie zpracování jsou vyžadovány jiné hodnoty vlhkosti, například u lisování briket nebo pelet je vyžadována podstatně nižší. Z tohoto hlediska je velmi důležitá u biomasy její vlhkost, která má při spalování zásadní vliv na její výhřevnost a s tím související i energetický zisk [2].

Obsah vody v biomase neboli vlhkost můžeme popsat pomocí dvou základních vzorců. V našem případě se bude jednat o počítání vlhkosti dřeva [6].

##### *Relativní vlhkost*

- rozdíl mezi hmotností vlhkého vzorku dřeva a vzorku dřeva po vysušení, vydělený hmotností původního vlhkého vzorku,
- vztažený k výchozí hmotnosti dřeva,
- používá se v energetickém odvětví.

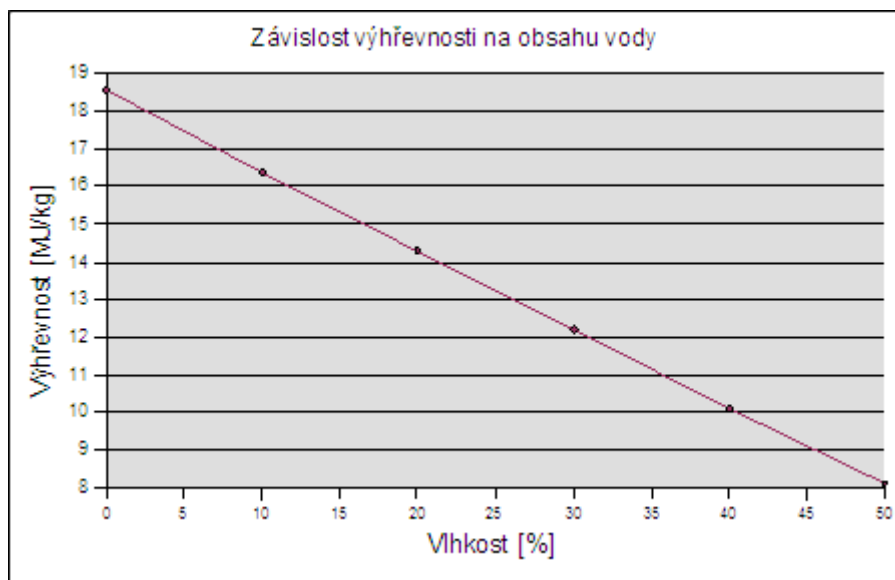
$$W = \frac{(M_v - M_s)}{M_v} \cdot 100 [\%]$$

### **Absolutní vlhkost**

- využívá se v dřevařském odvětví pro stanovení obsahu vody k suchému dřevu,
- vlhkost může vyjít i přes hranici 100 %,
- vztaženo k absolutní sušině.

$$W = \frac{(M_v - M_s)}{M_s} \cdot 100 [\%]$$

kde: W – vlhkost dřeva [%],  $M_v$  – hmotnost vzorku před vysušením [kg],  $M_s$  – hmotnost vzorku po vysušení [kg]



**Obr. 2** Graf závislosti výhřevnosti biomasy na obsahu vody pro spalování [7]

Z grafu je zřejmé, jak je výsledná energetická účinnost využití biomasy závislá na obsahu vlhkosti. Pokud bychom chtěli porovnat z energetického hlediska spalování dřevní štěpky s vlhkostí 50 %, zjistíme, že se jedná o značně nevýhodný proces, protože využijeme necelou polovinu energie obsažené v palivu.



**Tab. 2** *Výhřevnost různých druhů paliv [8]*

Druh paliva	Obsah vody	Výhřevnost
	[%]	[MJ/kg]
Listnaté dřevo	15	14,605
Jehličnaté dřevo	15	15,584
Borovice	20	18,4
Vrba	20	16,9
Olše	20	16,7
Habr	20	16,7
Akát	20	16,3
Dub	20	15,9
Jedle	20	15,9
Jasan	20	15,7
Buk	20	15,5
Smrk	20	15,3
Bříza	20	15,0
Modřín	20	15,0
Topol	20	12,9
Dřevní štěpka	30	12,18
Sláma obilovin	10	15,49
Sláma kukuřice	10	14,40
Lněné stonky	10	16,90
Sláma řepky	10	16,00

### 3.2 Vlastnosti popela

Při rozšiřujícím se využívání topenišť na biomasu je potřebné vyřešit přijatelné využití vzniklého popela. V současnosti dochází k jeho používání na zemědělské půdě, v lese jako hnojivo nebo je jako odpad vyvážen na skládky komunálního odpadu. Významný je obsah živin v popelu, který obsahuje mnoho látek, které byly získány rostlinou během růstu z atmosféry nebo půdy. Pokud má být popel správně využitý, je třeba znát jeho prvkové složení. Prvky představující problém jsou těžké kovy (As, Cd, Pb, Hg, Zn) a jsou zastoupeny v závislosti na místě, kde rostlina vyrostla, charakteru spalované suroviny, způsobu zpracování a technologii procesu spalování [29].



**Obr. 3** *Popel z biomasy [28]*

### ***Teplota měknutí, tání a tečení***

V žárovém lůžku zařízení dochází k fyzikálním změnám popela, které jsou způsobené termickými procesy. Se vzrůstající teplotou dochází k deformaci až k úplnému roztavení částic popela. U stébelnatých rostlin, které mají nízkou teplotu měknutí popela, existuje velké riziko, při překročení kritické teploty, vzniku usazenin v topeništi, na roštu a na stěnách výměníku. Tyto usazeniny jsou nežádoucí, jelikož vedou k poruchám, přerušení provozu a ke změnám přívodu vzduchu. Po jejich vzniku musí být mechanicky odstraněny[6].

**Tab. 3** *Teplota deformace popela, teplota měknutí, tavení a tečení [6]*

Druh paliva	Deformace	Měknutí	Tavení	Tečení
	(°C)			
Ječná sláma	659	783	923	1118
Pšeničná sláma	612	767	1044	1257
Řepková sláma	633	665	1452	1460
Kukuřičná sláma	796	886	1036	1059
Pšeničné zrno	612	727	772	792
Smrkové dřevo	1041	1180	1265	1310
Hnědé uhlí	1260	1280	1360	1500

### ***Obsah popela***

U dřevin je vyšší obsah popela v kůře stromu než v samotném dřevě, jelikož je kůra vystavena většímu znečištění v průběhu růstu stromu a těžbě. Všeobecně je obsah popela ve dřevě ve srovnání s ostatními pevnými palivy nízký. Obsah popela ve dřevě je asi 0,6–1,6 %, u kůry většinou nepřekročí 3 %. Díky nízkým hodnotám odpadá například kontinuální odvod tuhých zbytků po spalování.

## 4 Technologie zpracování biomasy k energetickým účelům

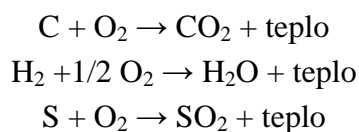
Z tohoto hlediska můžeme technologie rozdělit na čtyři základní části [1]:

- a) **suché procesy** (termomechanická přeměna biomasy)
  - spalování
  - zplyňování
  - pyrolýza
- b) **mokrý procesy** (biochemická přeměna biomasy)
  - alkoholové kvašení
  - metanové kvašení
- c) **fyzikální a chemická přeměna biomasy**
  - chemicky (esterifikace bio-olejů)
  - mechanicky (lisování, briketování, štípání, drcení atd.)
- d) **získání odpadního tepla při zpracování biomasy**
  - aerobní čištění odpadních vod
  - anaerobní fermentace pevných organických odpadů
  - kompostování

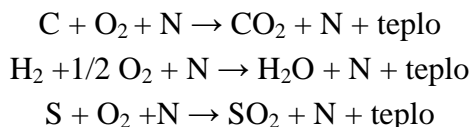
## 5 Technologie spalování

Spalování je chemický proces, při kterém probíhá rychlá oxidace a dochází k uvolnění chemické energie vázané ve spalovaném palivu. Tato energie je následně přeměněna na energii tepelnou, vhodnou pro výrobu elektrické energie, vytápění nebo technologické procesy. Jedná se o technologie v dnešní době dobře zpracované a nepředstavující žádné rizika. Proto i úpravy biomasy před spalováním jsou vyžadovány pouze nepatrné. Materiál je vyžadován s nižším obsahem vlhkosti. Optimální podmínky spalování jsou závislé na charakteru biomasy a velice důležité je sledování proměnného složení paliva. U výstupních spalin je nutná kontrola na emise oxidu uhelnatého a tuhých látek [9],[10].

**Exotermické spalovací reakce** – hořlavé plyny se slučují s kyslíkem [1].



Předchozí rovnice nepopisují reakce ve skutečném ohništi, kde nedochází k reakci s čistým kyslíkem, ale se vzduchem, který obsahuje i prvek dusík [1].



**Tab. 4** Přehled zařízení na spalování biomasy [11]

Zařízení		Popis	Použití	Palivo
Lokální topeniště (několik kW)	klasická kamna a krby	Dnes již prakticky nejsou efektivním řešením, krby slouží spíše jako doplněk interiéru.	rodinné domy, dílny, restaurace, menší budovy	polena, brikety
	krbová kamna	Moderní krbová kamna mohou mít vestavěnou krbovou vložku, takže mohou sloužit také jako kotel ústředního topení.		
	cihlové pece a kachlová kamna	Většinou nalézají použití jako estetická součást interiéru, mají poměrně vysokou účinnost.		
Malé kotle na biomasu (20 – 100 kW)	zplyňovací kotle na kusové dřevo	Palivo je zplyňováno a plyn následně spalován. Výkon se dá pohodlně regulovat.	rodinné domy, menší budovy, dílny	brikety, polena (dřevní odpad s manuální obsluhou)
	automatické kotle	Součástí systému s bezobslužným provozem je podavač paliv a upravený hořák.	školy, školy, administrativní budovy, hotely	pelety, obiloviny, štěpka
Střední kotle (nad 100 kW)	automatické kotle	Jedná se obvykle o roštové kotle s posuvným roštěm. Lze v nich spalovat i méně kvalitní či vlhčí biomasu.	větší zdroje průmyslového vytápění, průmyslové objekty	štěpka, sláma, pelety, brikety
Kotelny velkých výkonů (MW)	spalování na roštu	Stále ještě je rozšířenější alternativou spalování na roštu, nicméně fluidní technologie se pro své výhody rychle vyvíjí. Jednou z nich je možné využití pro spoluspalování biomasy s tuhými fosilními palivy.	velké areály výrobních podniků, školy, obecní budovy, obce	piliny, sláma, štěpka, energetické rostliny, dřevní odpad
	fluidní technologie			

## 5.1 Spalování na roštu

Spalování v roštovém kotli se řadí mezi technologie s dlouhou historií. V současné době se uplatňuje při spalování biomasy téměř ve všech jejích formách: kusové dřevo, štěpka, pelety, dřevní odpady z lesnictví atd. Pro materiály s jemnou frakcí je tento způsob nevhodný z důvodu propadu roštěm.

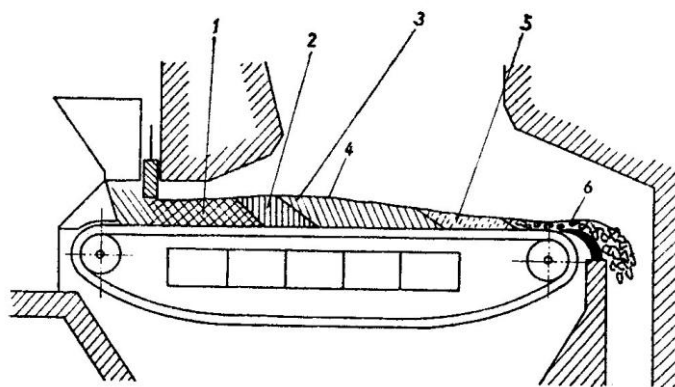
Velmi důležitá je funkce roštu, při zajištění přívodu spalovacího vzduchu do jednotlivých míst roštu tak, aby spalování probíhalo při optimálním přebytku vzduchu. U materiálu na roštu dochází postupně k vysušení, zahřátí na zápalnou teplotu, hoření a dokonalému vyhoření paliva. Dochází taktéž ke shromažďování tuhých zbytků po spalování a jejich odvod z ohniště do popelníku. Významná je také možnost měnit výkon zařízení.

Spalování na pevném roštu je typický pro kotle o malých výkonech. Rošt je nehybný, zbytky po spalování přes něj propadávají do popelníku a jeho velikost do jisté míry ovlivňuje výkon zařízení. Pro odvod zbytků po spalování má rošt pohyblivý mechanismus. U těchto zařízení je široká různorodost provedení roštů dána jejich rozdílným tvarem, velikostí otvorů v roštu, nakloněním roštu, mechanismem k odvodu popela a mnohými dalšími odlišnostmi.

Pro rošty mechanické, které jsou pohyblivé a zajišťují pohyb paliva směrem do míst spalování, jsou typické kotle o větších výkonech. Primární vzduch je přiváděn v několika fázích a výkon zařízení je ovlivněn rozměry roštu. Mezery mezi roštníci musí mít přesnou velikost pro dané palivo, aby nedocházelo k jeho propadání. Palivo je na rošt přiváděno pomocí šnekového dopravníku přímo z násypky [3].

### Rozdělení mechanických roštů [3]:

- pásové
- přesuvné
- vratisuvné
- válcové



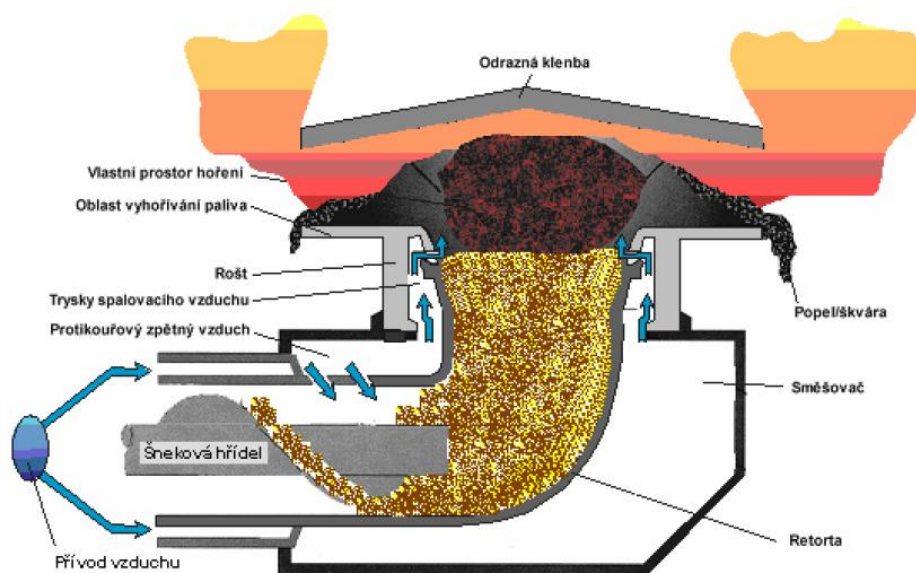
**Obr. 4** Spalování paliva na pásovém roštu [12]

### Legenda:

- |                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1 sušení paliva               | 4 hoření tuhé hořlaviny |
| 2 odplynění a vznícení paliva | 5 dohořívání paliva     |
| 3 hoření prchavé hořlaviny    | 6 popel                 |

## 5.2 Spalování se spodním přívodem paliva

U kotlů se spodním přívodem je palivo přiváděno, pomocí šnekového dopravníku, pod hořící vrstvu. V koncové části je pomocí litinového kolena (retorty) převeden směr pohybu paliva do vertikálního směru. Na retortu navazuje rošt a dochází mezi nimi k proudění spalovacího vzduchu. Z důvodu těsnosti je rošt umístěn ve směšovači. Palivo se zahřívá a vysušuje v retortě a nad touto oblastí dochází k intenzivnímu uvolňování prchavé hořlaviny a jejímu hoření ve vyšší poloze. Postupujícím pohybem nového paliva dochází k vytlačování dohořívajícího paliva a popelu, který přepadává do popelníku [3].



*Obr. 5 Spalování se spodním přívodem paliva (kotel CRE) [3]*

## 5.3 Spalování ve fluidní vrstvě

Při fluidním spalování dochází ke spalování paliva ve fluidní vrstvě, která má vysokou tepelnou kapacitu a je schopna absorbovat změny vlastností paliv způsobené kolísavým obsahem vlhkosti.

Spalování probíhá ve vlnosku, kdy je palivo udržováno ve fluidním stavu prouděním vzduchu. Odpor proudícího média odpovídá tíze částic a hmota částic se chová jako kapalina. Se zvětšováním rychlosti proudění roste výška fluidní vrstvy. Částice se pohybuje v ohništi až do svého vyhoření, případně je do ohniště vrácena.

Fluidní kotel dovoluje u biomasy spalování drceného paliva do 15 mm. S intenzivním kmitáním částic v rovnovážné poloze souvisí velké přestupy tepla  $\alpha = 200\text{--}800 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . Fluidní kotle se často konstruují pro větší výkony a to přibližně od 8 MW<sub>t</sub> až po stovky MW<sub>t</sub>. Fluidizace se pohybuje rychlostí od 0,7 do 1,5 m/s. Výkon kotle můžeme regulovat výškou fluidní vrstvy.

Kotle se stacionární fluidní vrstvou jsou převážně menších výkonů a používají se často pro spalování biomasy. Ve fluidních kotlích lze spalovat mimo dřevní štěpky, pilin a lesní štěpky také odpadní dřevo ze staveb (překližky, dřevo z demolic) nebo biomasu ze zemědělské výroby (pecky z ovoce, odpad ze zpracování kávy, křoviny). V některých případech je vhodné míšení různých druhů látek, aby byl snížen obsah škodlivé látky [3].

## 5.4 Zhodnocení procesu spalování

*Tab. 5 Zhodnocení procesu spalování biomasy*

Výhody procesu spalování	Nevýhody procesu spalování
Nejrozšířenější a nejpropracovanější proces pro výrobu tepla a elektrické energie z biomasy	Nelze spalovat biomasu s vysokým podílem vlhkosti
Lze spalovat většinu pevné biomasy	Vysoké nároky na skladovací prostory
Při spalování biomasy vzniká menší množství škodlivých látek, ve srovnání se spalováním fosilních paliv	Úprava biomasy před spalováním zvyšuje ceny energie
Odpadem je popel, který je možno využít jako hnojivo	Možnost vzniku škodlivých emisí při nesprávném spalování biomasy

## 5.5 Investiční náklady vybraných projektů

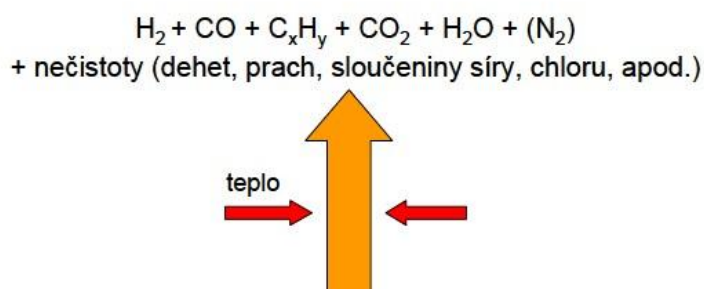
*Tab. 6 Investiční náklady na výstavbu teplárny spalující biomasu [27], [30]*

Teplárna	Pořizovací náklady	Instalovaný elektrický výkon	Instalovaný tepelný výkon	Počet napojených odběrných míst	Náklady na pořízení 1 MW <sub>t</sub>	Náklady na pořízení 1 MW <sub>e</sub>
	tis. Kč	kW	kW	/	tis. Kč/MW <sub>t</sub>	tis. Kč/MW <sub>e</sub>
Plzeň	870 000	11 500	35 000	40 000	24 857	75 652
Žlutice	106 000	0	7 900	520	13 418	/
Dešná	38 500	0	2 700	70	14 259	/

## 6 Zplyňování biomasy

U zplyňování probíhá termomechanická přeměna uhlíkatého materiálu v pevném nebo kapalném skupenství na výhřevný energetický plyn. Přeměna probíhá za vysoké teploty pomocí zplyňovacího média, kterým je většinou vzduch, pára, oxid uhličitý nebo kyslík. Produktem je plyn, který obsahuje výhřevně složky ( $H_2$ , CO,  $CH_4$  a další sloučeniny), doprovodné složky ( $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $N_2$ ) a znečišťující složky (prach, dehet, sloučeniny síry, alkálie atd.).

Zplyňovací proces popisuje celá řada reakcí, ale obecně lze popsat pomocí těchto pochodů: sušení, pyrolýza, redukce a oxidace. Tyto procesy probíhají souměrně v případě fluidních generátorů nebo postupně, např. u sesuvných generátorů [14].



Obr. 6 Princip zplyňování [14]

### 6.1 Rozdělení zplyňovačů podle zdroje tepla pro zplyňování

Sušení, pyrolýza a redukce jsou procesy, které spotřebovávají teplo. Energie ve formě tepla může být získána hořením části paliva v reaktoru (autotermní zplyňování) nebo je přivedena z okolního prostředí (alotermní zplyňování).

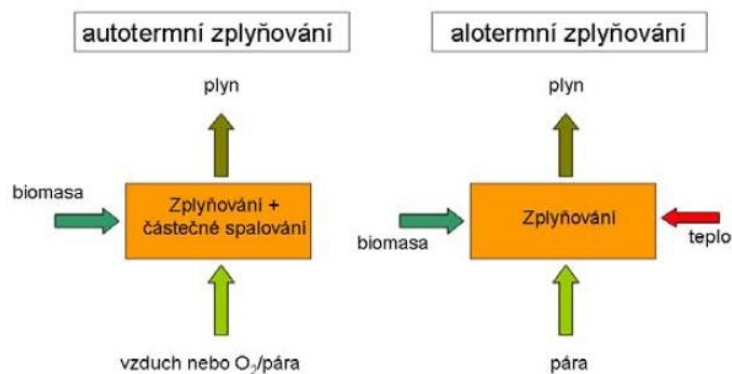
#### *Autotermní zplyňování*

Při autotermním zplyňování jsou důležité spalovací exotermní reakce, které pokrývají spotřebu tepla pro zplyňování. Důležitý je přívod kyslíku do reaktoru. Nejčastěji používaný je kyslík vzdušný, který ředí generátorový plyn dusíkem ze vzduchu a snižuje obsah výhřevných složek. Aby nedocházelo k naředění generátorového plynu dusíkem, používá se při autotermním zplyňování čistý kyslík, který ovšem zvyšuje investiční a provozní náklady na výrobu. Tepelné nároky v reaktoru vyžadují spálení přibližně 20–25 hm. % paliva.

#### *Alotermní zplyňování*

Při alotermním zplyňování je vyžadován vnější přísun tepla, s kterým je vyžadováno složitější zařízení s vyššími investičními náklady. Přísun tepla bývá zajištěn předehřevem zplyňovacího média a paliva, otopem stěn reaktoru nebo přenosem tepla přímo do reaktoru. Alotermním zplyňovacím médiem bývá vodní pára. Výsledkem je plyn s vyšší výhřevností a se širšími možnostmi uplatnění v porovnání s plynem vzniklým u autotermního zplyňování [14].





Obr. 7 Autotermní a alotermní zplyňování [14]

## 6.2 Rozdělení zplyňovačů podle typu konstrukce reaktoru

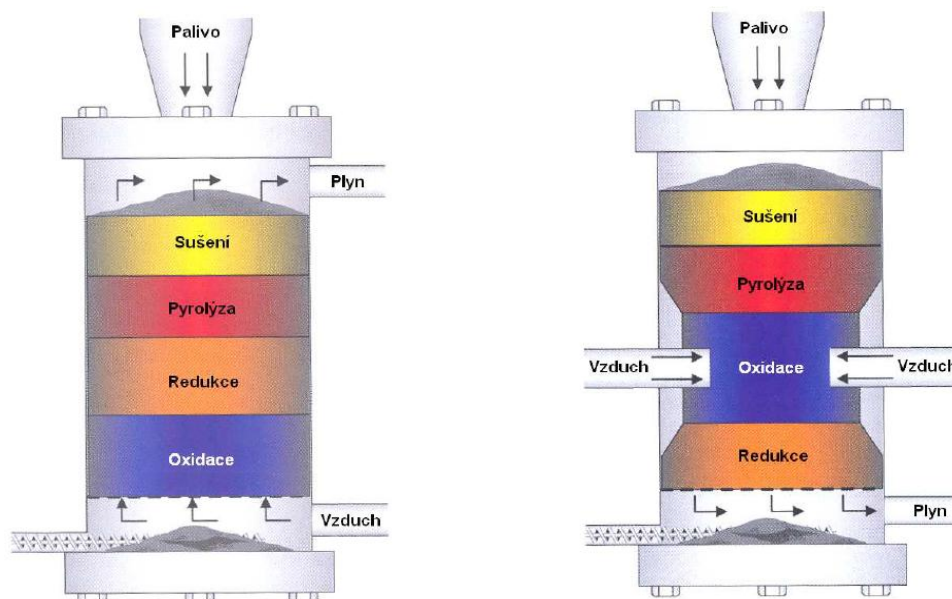
Typy reaktorů jsou často charakterizovány směrem proudění plynu reaktorem nebo podle směru toku pevných částic a proudu plynu.

### *Protiproudý zplyňovač*

Jde o nejjednodušší typ zplyňovače, kdy je biomasa do reaktoru dopravována ze shora a postupným zplyňováním postupuje směrem dolů. Pohyb biomasy je v protiproudu vzduchu, který je přiváděn ze dna reaktoru pod rošt. Vzniklý plyn je odváděn vrchní částí reaktoru. Plyn proudí přes surový materiál, který se vlivem vysoké počáteční teploty ohřívá a vysušuje. V protiproudém zplyňovači lze zplyňovat i palivo, které obsahuje vysokou vlhkost. Tato vnitřní výměna tepla snižuje výstupní teplotu plynu na 200–400 °C. Jelikož výsledný plyn obsahuje velké množství dehtů a pyrolýzních produktů, je nutné jeho využití pro přímé spalování, kdy dochází ke spálení těchto látek. V případě využití pro výrobu elektrické energie je nutné externí čištění plynu [3].

### *Souproudý zplyňovač*

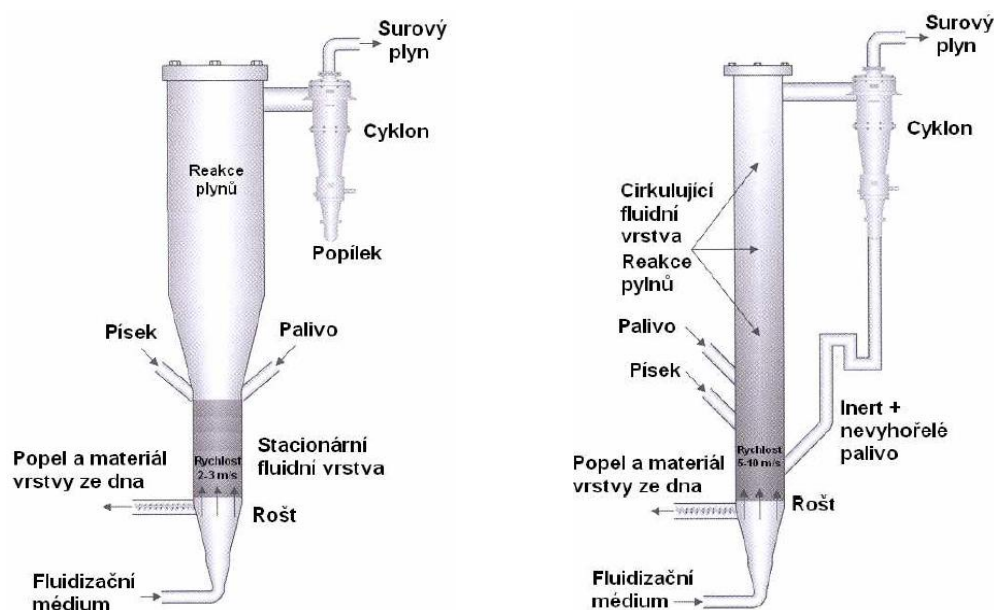
U souproudého zplyňovače je biomasa dopravována vrchem a vzduch je přiváděn ze strany. V první zóně sušení je odstraněna přebytečná vlhkost. V zóně pyrolýzy se za vyšších teplot uvolňuje z vysušeného materiálu pyrolýzní plyn. Oxidace probíhá v zúžené části reaktoru a výsledný plyn je odváděn přes redukční zónu spodní částí reaktoru. Reakce probíhají za teplot vyšších než 900 °C [15]. Velmi účinné spalování plynných produktů pyrolýzy a části uhlíkatého zbytku vede k dosažení nízkých obsahů dehtů ve výstupním plynu. Na energetickou účinnost celého zařízení má negativní vliv vysoká výstupní teplota plynu (až 700 °C). Nevýhodou je velké množství unášivých částic v plynu, z důvodu průchodu plynu oxidační zónou, odkud jsou částice unášeny [3].



Obr. 8 Protiproudý zplyňovač (vlevo), souproudý zplyňovač (vpravo) [3]

### 6.3 Fluidní zplyňování

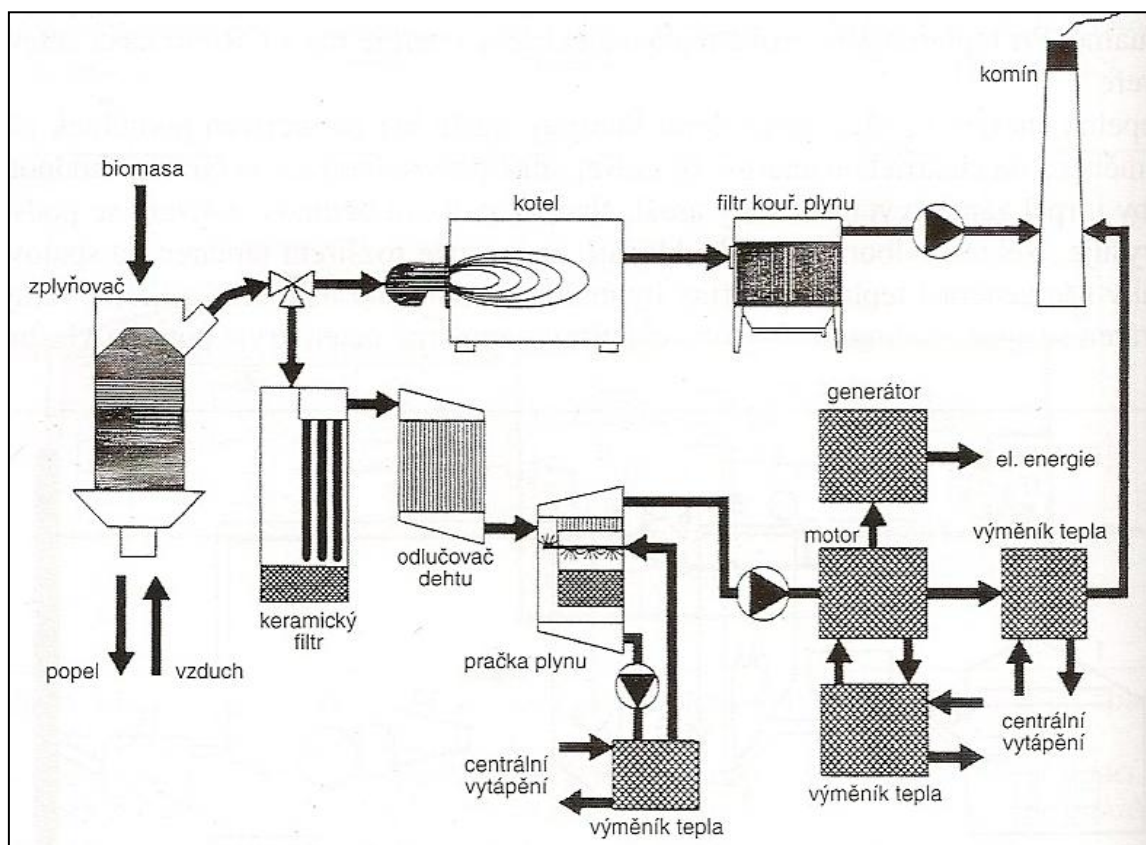
Průběh fluidního zplyňování probíhá ve vertikálním reaktoru s porózním dnem. Fluidní vrstvou je materiál, který má výborné fluidační vlastnosti, většinou se jedná o křemenný písek. Palivo je přiváděno do spodní části reaktoru. Zplyňovací médium je přiváděno pod rošt. Při dostatečném množství se materiál dostane do fluidizace. Dochází k neustálému mísení částecek paliva s materiálem fluidní vrstvy a shoření části paliva. Vzniklá energie je využita ke zplynění zbylé části paliva. Ve fluidní vrstvě dochází k sušení, pyrolýze, oxidaci a redukci současně za teploty mezi 700–900 °C. Nevýhodou fluidních zplyňovačů je nutnost čištění plynu z důvodu vysokého podílu dehtů a unášených částic [16], [3].



Obr. 9 Schéma zplyňovače se stacionární fluidní vrstvou (zleva) a cirkulující fluidní vrstvou (vpravo) [3]

**Stacionární fluidní zplyňovače** mají ukončenou fluidní vrstvu hladinou. Průměr reaktoru určuje rychlost plynu nad hladinou, aby nedocházelo k úletu částic. Vyznačují se nízkým obsahem dehtů od 1 do 2 %.

**Cirkulující fluidní zplyňovače** mají fluidní vrstvu omezenou stropem reaktoru. Vrstva má po výšce rozdílnou hustotu. Při vysokých rychlostech plynu je potřebné oddělení částic v cyklonu a jejich znovunavrácení do zařízení [3].



Obr. 10 Schéma teplárny se zplyňováním dřevní hmoty [1]

## 6.4 Zhodnocení procesu zplyňování

Tab. 7 Zhodnocení procesu zplyňování biomasy

Výhody procesu zplyňování	Nevýhody procesu zplyňování
Lze zplyňovat biomasu s vyšší vlhkostí	Výsledný plyn obsahuje velké množství dehtů a pyrolyzních produktů - nutné čištění
Možnost smíšení biomasy s jinými palivy	U souproutého zplyňovače je vysoká výstupní teplota plynu
Při spalování čistých plynných paliv v tepelných strojích s dostatkem vzduchu vzniká minimální množství emisí	Při alotermním zplyňování je nutné zajistit vnější přívod tepla, což vyžaduje složitější zařízení a vyšší investiční náklady
Nižší měrné provozní náklady na jednotku výkonu	U souproutého zplyňovače musí být částice větších rozměrů (20–100 mm)

## 7 Pyrolýza

Princip pyrolýzy je založen na termickém rozkladu organických materiálů bez přístupu médií obsahujících kyslík. Materiál je ohříván nad teplotu termické stability organických sloučenin. Po překročení se štěpí a uvolňují se nízkomolekulární látky a tuhý zbytek. V praxi můžeme z technologického hlediska rozdělit pyrolýzní procesy podle teploty na nízkoteplotní (do 50 °C), středněteplotní (500–800 °C) a vysokoteplotní (nad 800 °C).

Při pyrolytickém procesu lze v závislosti na teplotě pozorovat různé děje, které lze rozdělit do tří teplotních intervalů. Silně endotermické procesy, do kterých patří sušení a tvorba vodní páry, vznikají v oblasti do 200 °C. Oblast tzv. suché destilace je v rozmezí teplot 200–500 °C. Charakterizující je odštěpení bočních řetězců z vysokomolekulárních organických látek a přeměnou makromolekulárních struktur na plynné, kapalně organické produkty a pevný uhlík. Ve třetí fázi suché destilace za teplot v rozmezí 500 až 1200 °C dochází k dalšímu štěpení produktů a vzniku plynu z organických látek [17]. Výsledkem pyrolýzy je pyrolytický plyn, pyrolytický olej a pyrolytický koks [18].

### 7.1 Průmyslové využití procesu pyrolýzy

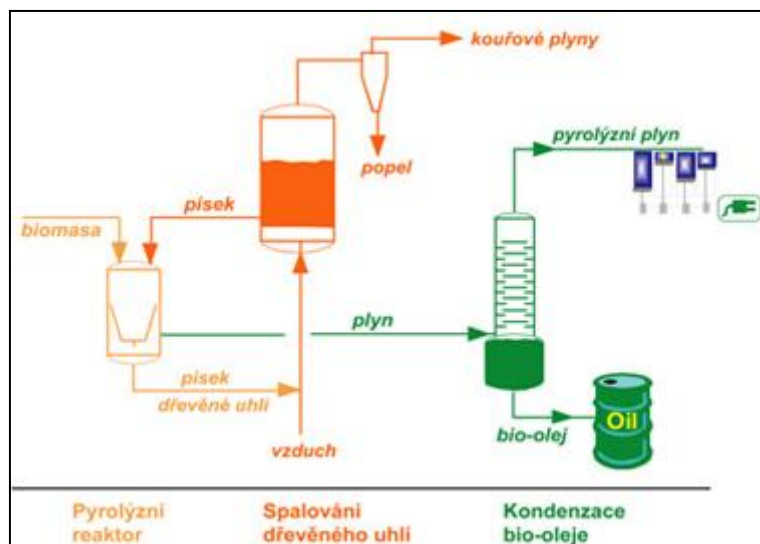
V současné době je většina pyrolýzních zařízení založena na termickém rozkladu odpadního materiálu v rotační peci nebo se jedná o projekty, které jsou teprve ve vývoji a zkušební fázi. Spaliny vznikající při spalování pyrolýzních plynů v termoreaktoru jsou využity k zevnímu vytápění pece. Současně je přebytek energie, která není využita při spalování plynů na ohřev vsázky, využit v kotlích na odpadní teplo k výrobě teplé užitkové vody nebo k výrobě elektrické energie ve spalovacích turbínách. Modernější přístup předpokládá využívání pyrolýzního plynu, jako chemická surovina nebo topný plyn pro spalovací turbíny a motory kogeneračních jednotek [18].

Zatoupení pyrolýzních technologií je ve srovnání se spalováním nesrovnatelně malé. Jejich technologie je neustále vyvíjena, především ve zpracování odpadního dřeva a substrátů dříve skladovaných.

### 7.2 Rychlá pyrolýza – zkapaňování

Proces rychlé pyrolýzy se řadí do technologií, které mění biomasu na produkty vyšší energetické úrovně a to převážně v kapalném stavu. Jejich výhodou ve srovnání s plynem je, že jsou snadno transportovatelné a oddělitelné od konverzní technologie. Ve snaze částečně nahradit dnes denně používaná kapalná paliva bionaftou, dochází k neustálému zdokonalení technologie. Dostatečně vyvinutá termomechanická přeměna biomasy rychlou pyrolýzou probíhá v reaktoru za teplot 450–500 °C a doba setrvání materiálu v reakční zóně je do dvou minut. Vznikají páry a aerosoly, které jsou zkondenzovány na kapalinu (bio-olej) o výhřevnosti 16–22 MJ/kg. Kapalinu lze snadno skladovat a následně upravovat na motorové či jiné bio-palivo. Výtěžek bio-oleje z celkových produktů rychlé pyrolýzy může být až 70 % hmotnostních. Současně vznikají vedlejší produkty pyrolýzy jako je koks (do 15 %) a pyrolýzní plyn (do 51 %), které jsou často využity k výrobě tepla pro vlastní pyrolýzní proces [19].

Bio-olej je vyráběn pyrolýzou z libovolného tuhého bio-paliva, které musí mít určitou vlhkost a rozměr. Jde o materiál, který je vysušen na vlhkost menší než 10 %, jelikož dovolené hodnoty obsahu vody v bio-oleji se pohybují mezi 15–20 %. Drcení suroviny na částice o rozměru přibližně tři milimetry zabezpečuje snadnou separaci pevných částic a rychlý průběh reakce. Bio-olej získaný procesem rychlé pyrolýzy je následně čištěn a upravován pro další chemické zpracování [19].



Obr. 11 Schéma technologie BTG pro rychlou pyrolýzu [20]

### 7.3 Pomalá pyrolýza – karbonizace

Princip pomalé pyrolýzy lze popsat nízkou rychlostí výhřevu, nízkou teplotou reakce (menší než 400 °C) a dlouhou dobou setrvání materiálu v reaktoru. Během reakcí dochází v reaktoru ke vzniku plynů, dehtů a tuhých uhelných zbytků, které se přemění v dřevěné uhlí [21].

Technologie pomalé pyrolýzy se tedy nejvíce používá k výrobě dřevěného uhlí. K samotné výrobě je potřeba kvalitní tvrdé listnaté dřevo, které lze přeměnit pomocí pálení v karbonizačních pecích a v retortách. Jejich rozdíl je v přívodu tepla pro pyrolýzu. Karbonizační pece jsou vytápěny vnitřním spalováním části paliva v celokovové nádobě. V retortě dochází k vnějšímu přívodu tepla, vzniklého spalováním odpadního paliva a pyrolýzního plynu, přes plášť. Výhodou je větší produkce dřevěného uhlí, protože nedochází ke spalování části dřeva [3].

### 7.4 Zhodnocení procesu pyrolýzy

Tab. 8 Zhodnocení procesu pyrolýzy biomasy

Výhody procesu pyrolýzy	Nevýhody procesu pyrolýzy
Hlavním produktem je bio-olej, který je následně upraven na bio-palivo	Při rychlé pyrolýze je vyžadována nízká vlhkost a malé rozměry materiálu
Při procesu dochází k rychlému přenosu tepla a materiál setrvává v reaktoru pouze krátkou dobu	Dle technologie může bio-olej obsahovat vysoké množství popelovin
Proces pyrolýzy je energeticky nezávislý	Nevhodné pro biomasu, která má tendenci ke spékání
Možnost využití zbytkového tepla	Jde o značně finančně náročnou technologii

## 8 Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace je soubor na sebe navazujících organických procesů, při nichž dochází k rozkladu biologicky rozložitelné organické hmoty bez přístupu vzduchu. Proces rozkladu podporuje skupina anaerobních mikroorganismů, kdy v silné závislosti produkt první skupiny se stává substrátem skupiny druhé. Nechtěný výpadek jedné ze skupiny by vedl k narušení celého systému. Výsledným produktem je bioplyn, složený z plyných složek ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ), vyhnitý substrát a nerozložitelný zbytek organické hmoty, který je pro prostředí nezávadný [22].

### 8.1 Průběh anaerobního procesu

Jedná se o biomechanický proces složený ze čtyř, na sebe navazujících biologických, fyzikálních a fyzikálně-chemických procesů.

**Tab. 9** Popis jednotlivých fází anaerobního procesu [22]

Proces	Průběh
Hydrolýza	Anaerobní bakterie přeměňují rozpuštěné i nerozpuštěné organické látky (bílkoviny, polymerní cukry, tuky) na nízkomolekulární látky (monosacharidy, mastné kyseliny, voda) pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů. Nízkomolekulární látky jsou rozpustné ve vodě.
Acidogeneze	Jedná se o „kyselou“ fázi, kdy jsou produkty hydrolýzy rozkládány na jednodušší organické látky (kyseliny, alkoholy, $\text{CO}_2$ , $\text{H}_2$ ). Fermentací těchto látek vzniká řada redukováných produktů, jejichž vlastnosti jsou ovlivněny charakterem prostředí a složením původního substrátu. Vše je závislé na parciálním tlaku vodíku. Při nízké hodnotě je produktem kyselina octová, $\text{CO}_2$ , $\text{H}_2$ , při vyšším vznikají vyšší organické kyseliny.
Acetogeneze	Při této fázi probíhá oxidace produktů acinogeneze na $\text{CO}_2$ , $\text{H}_2$ a kyselinu octovou, kterou tvoří autogenní respirace $\text{CO}_2$ , $\text{H}_2$ a homoacetogenními mikroorganismy. Přítomnost těchto mikroorganismů produkujících vodík je nezbytná. Jejich činností rozkládají kyselinu propionovou a ostatní organické kyseliny vyšší než octovou, alkoholy a některé organické látky. Navíc jsou zastoupeny minoritní skupiny organismů (sulfátoreduktanty, nitrátoreduktanty), které produkují vedle kyseliny octové a vodíku také sulfan a dusík.
Metanogeneze	Poslední fáze procesu, kde metanogenní organismy rozkládají jednoduhlikaté látky (metanol, kyselinu mravenčí, metylamin, $\text{CO}_2$ , $\text{H}_2$ , $\text{CO}$ ) a kyselinu octovou. Organismy trofické skupiny mají specifické požadavky na substrát a životní podmínky. Často se stávají limitujícím faktorem celého procesu. Podle specifiky substrátu je lze rozdělit pouze na hydrogenotropní nebo pouze na autotrofní.



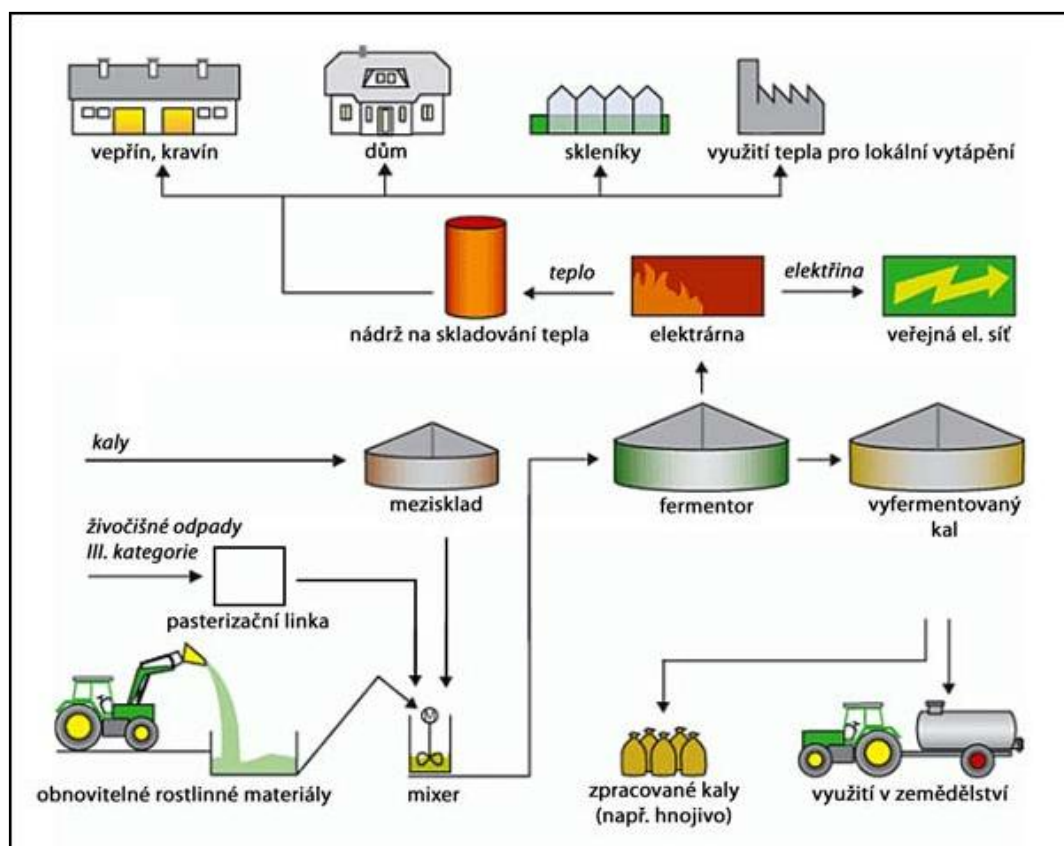
## 8.2 Technologie „mokrý“ fermentace

Mokrý fermentace je nejběžnější metodou anaerobního zpracování odpadů ze zemědělství a bioodpadů. V zemědělství se zpracovávají především exkrementy hospodářských zvířat. Samotný princip fungování anaerobní fermentace pro mokrou technologii lze popsat následovně.

Surovina s nízkým obsahem sušiny, nejčastěji v optimálním rozmezí 8 až 12 %, je upravena na požadovanou velikost částic a následně dopravena do homogenizační jímky. V této jímce se surovina ředí na potřebnou hustotu a neustále promíchává, aby se neusadily těžší částice na dně. Přípravná homogenizační jímka může být vybavena vytápěním k přehřevu suroviny a zařízením k míchání.

Přes dávkovací zařízení je surovina dopravena do vytápěného fermentoru. Jedná se o velké vzduchotěsné nádoby, které mohou mít provedení (válcové, pravoúhlé hranolovité, kulové, polokulové a další). Ve fermentorech probíhá proces za stálého míchání a teploty 37 °C při mezofilních podmínkách nebo 55 °C při termofilních podmínkách. Množství a vlastnosti surovin ovlivňují dobu zdržení, počet a velikost fermentoru. Jde o nejdůležitější část bioplynové stanice, jelikož na jeho funkci závisí efektivita výroby bioplynu.

Odpadní materiál z fermentoru je fugát (sušina < 1 %) a je čerpán do uskladňovací jímky, kde je uskladněn před dalším využitím pro hnojení. Bioplyn je z fermentoru odváděn plynovým potrubím k technologiím související s jeho energetickým využitím. Jedná se o sušení a jeho případné odsíření. Bioplyn je následně využit v kogeneračním motoru pro výrobu elektrické energie a tepla [1], [24].



**Obr. 12** Schéma bioplynové stanice s technologií „mokrý“ fermentace [23]

## 8.2.1 Zhodnocení procesu „mokrý“ fermentace

**Tab. 10** Zhodnocení technologie „mokrý“ fermentace biomasy

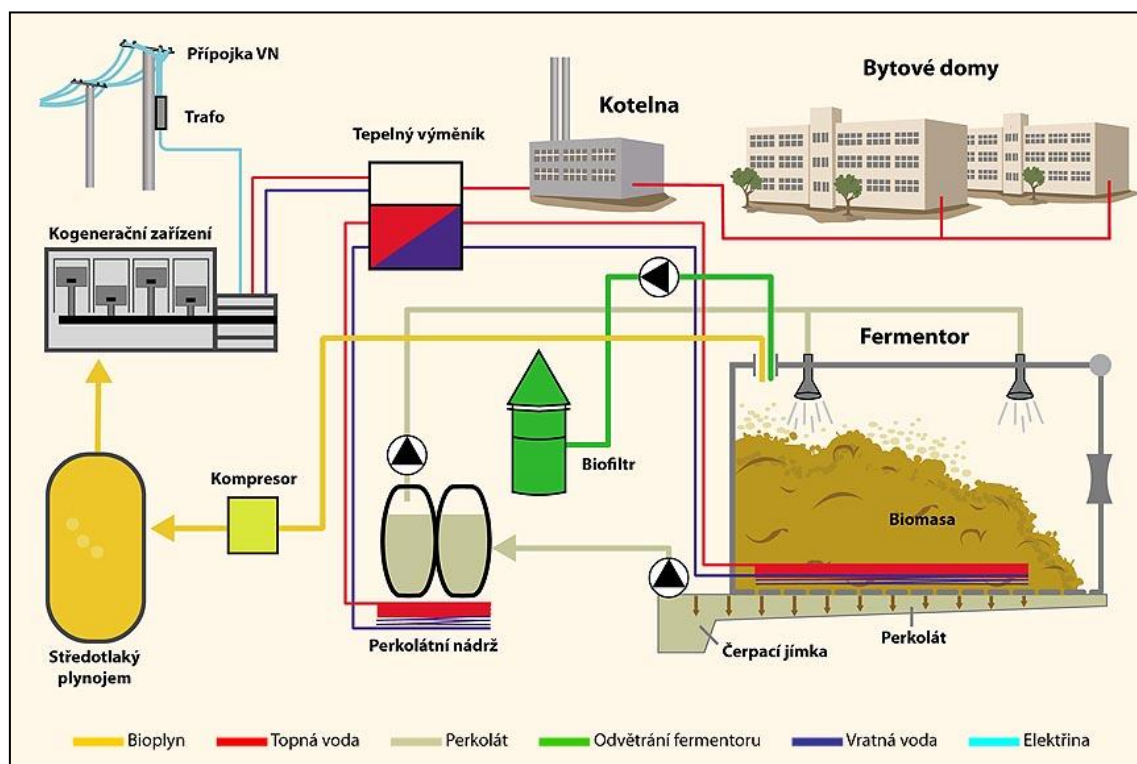
Výhody „mokrý“ anaerobní fermentace	Nevýhody „mokrý“ anaerobní fermentace
Produktem je bioplyn, který může být využit k výrobě tepla a elektrické energie	Vzniká velké množství kapalného výstupního fúgátu
Jde o rozšířený a dobře zvládnutý proces	Před vstupem do fermentoru je nutná úprava biomasy
Ekologické zpracování tekutého živočišného odpadu	Pro ekonomický provoz zařízení je nutný celoroční přísun vstupního materiálu
Odpadní materiál je využit jako hnojivo	Proces může provázet nepříjemný zápach

## 8.3 Technologie „suchý“ fermentace

Jedná se o technologii, která zpracovává biomasu především v tuhém stavu. Obsah sušiny ve zpracovávaném materiálu se v praxi pohybuje především mezi 18 až 30 %. Teplota, při které reakční proces probíhá, je v rozmezí 32 až 38 °C.

Technologie je označována diskontinuální, neboli doba zdržení materiálu ve fermentoru odpovídá době jednoho pracovního cyklu. Zpracovávaný materiál je do fermentoru dopravován pomocí manipulační techniky (nakladačem, traktorem s vozem). Proces reakce probíhá ve fermentoru, nejčastěji garážový nebo koš-zvon. Plyn ze substrátu se uvolňuje přibližně po třech dnech a proces trvá 24 až 27 dnů. V průběhu procesu je materiál sprchován perkolátem, látkou obsahující vhodné kultury anaerobních mikroorganismů, pro zvýšení produkce bioplynu.

Vyprodukovaný bioplyn je odčerpáván u stropu fermentoru do plynojemů. Následně je nákladně čištěn, upravován a využit v kogenerační jednotce pro výrobu elektrické energie a tepla [24].



**Obr. 13** Schéma bioplynové stanice s technologií „suché“ fermentace [25]



### 8.3.1 Zhodnocení procesu „suché“ fermentace

*Tab. 11 Zhodnocení technologie „suché“ fermentace biomasy*

Výhody „suché“ anaerobní fermentace	Nevýhody „suché“ anaerobní fermentace
Produktem je bioplyn, který může být využit k výrobě tepla a elektrické energie	Při naskladnění a vyskladnění biomasy musí být proces zastaven
Vstupní hmota může obsahovat různé příměsi (hlína, kamení)	Biomasa má oproti mokré technologii nižší účinnost rozkladu
Nízká vlastní spotřeba elektrické energie	Ve startovací fázi procesu může kolísat produkce bioplynu
Odpadní materiál je využit jako hnojivo	Proces může provázet nepříjemný zápach

### 8.4 Investiční náklady vybraných projektů

*Tab. 12 Investiční náklady na výstavbu bioplynové stanice [26], [27]*

Bioplynová stanice	Pořizovací náklady (v tis. Kč)	Instalovaný elektrický výkon	Instalovaný tepelný výkon	Náklady na pořízení 1 MW <sub>t</sub>	Náklady na pořízení 1 MW <sub>e</sub>
	tis. Kč	kW	kW	tis. Kč/MW <sub>t</sub>	tis. Kč/MW <sub>e</sub>
Otrokovice	62 000	780	950	65 263	79 487
Suchohrdly u Miroslavi	40 000	530	600	66 667	75 472
Krásná Hora	55 000	526	558	98 566	104 563

## 9 Závěr

Na využívání biomasy je kladen čím dál větší význam nejen jako zdroj potravy, ale i jako zdroj určený k energetickým účelům. Aby využití cíleně pěstované biomasy bylo co nejefektivnější, je třeba důkladně znát podmínky jejího vzniku, které jsou zjednodušeně popsány v kapitole 2.1. Mezi tyto zdroje lze zařadit rychle rostoucí dřeviny, byliny, rostliny pro výrobu etylalkoholu a olejů. Tyto rostliny jsou pěstované převážně na plochách, které jsou nevhodné pro pěstování potravinářských plodin. Neméně podstatné využití představuje i odpadní biomasa, která vzniká odpadem ze zemědělství, potravinářství, lesnictví a úpravou veřejných prostranství. Biomasu po technologické úpravě je možné využívat i v jiných oblastech, jako je surovina pro průmysl, pro pohon dopravních prostředků, zdroj energie pro výrobu tepla a elektrické energie.

K vhodnému využití biomasy k energetickým účelům se využívají jednotlivé technologie zpracování. Mezi technologicky nepropracovanější a u nás nejčastěji využívanou technologií patří spalování biomasy. Jejím produktem je tepelná energie, která je převážně určena k vytápění. K výrobě elektrické energie je účinnější využití „kogenerace“, což je kombinovaná výroba tepla a elektrické energie. K přednostem této technologie patří snadná automatizace, vznik menšího množství škodlivých látek při spalování a možnost spalování téměř veškeré pevné formy biomasy. Velmi důležitá je i úprava paliva před spalováním a nutnost zabezpečit jeho stálý přísun z přilehlých oblastí, jelikož dovoz z větších vzdáleností konečnou energii prodražuje. Z ekonomického hlediska je cena zařízení relativně nízká a určuje ji převážně technologie spalování a instalovaný tepelný nebo elektrický výkon. K termomechanickým procesům kromě spalování patří rovněž zplyňování a pyrolýza biomasy. Výsledným produktem zplyňování je výhřevný energetický plyn, jehož nevýhodou je, že při výstupu obsahuje velké množství dehtů, unášivých částic a pyrolýzních produktů. Bez čištění je jeho využití vhodné pouze pro spalování. Produktem rychlé pyrolýzy je bio-olej, který je nutný upravit na motorové či jiné bio-palivo. Zplyňovací a pyrolýzní zařízení na biomasu se u nás téměř nevyskytují, kromě zařízení, které jsou ve vývoji a zkušební fázi. Z tohoto důvodu není uvedena u daných technologií tabulka s investičními náklady. Mezi jejich hlavní nevýhody patří vysoká pořizovací cena a méně propracované technologie. Poslední popsanou technologií je anaerobní fermentace. Jde o technologii, která jako jediná dokáže zpracovávat vlhké organické odpady. Jejím produktem je energeticky hodnotný bioplyn, který se nejčastěji využívá v kogeneračních jednotkách k výrobě elektrické energie a tepla. Výhodou anaerobní fermentace je ekologické odstranění organických odpadů a možnost využití zbylého odpadu po fermentaci jako hnojivo. Mezi jejich nevýhody patří zápach v okolí těchto zařízení. Z ekonomického hlediska, ve srovnání se spalováním, jde o technologii dražší s nižším tepelným a elektrickým výkonem, ale u nás v poslední době velice rozšířenou.

Veškeré technologie jsou vyvíjeny a využívány především k ochraně životního prostředí a snaze alespoň částečně lokálně nahradit fosilní zdroje paliva. Jejich využití je spojeno i s ekonomickým zhodnocením a ekologickým zlikvidováním odpadních organických surovin.

## Seznam použité literatury

- [1] PASTOREK, Zdeněk, Jaroslav KÁRA a Petr JEVIČ. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC PUBLIC s.r.o., 2004. ISBN 80-86534-06-5.
- [2] MURTINGER, Karel a Jiří BERANOVSKÝ. *Energie z biomasy*. 1. vyd. Brno: ERA, 2006. ISBN 80-7366-071-7.
- [3] OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Michal BRANC. *Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. ISBN 987-80-248-1426-1. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/tech.pdf>
- [4] NÁTR, Lubomír. *Vliv CO<sub>2</sub> na rostliny: Fotosyntéza* [online]. 2007 [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://kfrserver.natur.cuni.cz/globe/others-CZ.htm>
- [5] KOLONIČNÝ, Jan. *Biomasa jako zdroj energie* [online]. VŠB-TU Ostrava, 6.6.2005 [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/zdroj.pdf>
- [6] *Vlastnosti biomasy z hlediska vhodnosti pro spalování* [online]. VŠB-TU Ostrava, [14 January 2010] [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: [http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD\\_Biomasa\\_nove/Pdf/?C=N;O=A](http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Pdf/?C=N;O=A)
- [7] MURTINGER, Karel. *Topení dřevem: Dřevo a jeho spalování* [online]. 5.10.2006 [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://www.topenidrevem.cz/index.php?page=clanek&rid=5359ebbcaa94bf171c951f2614090d88&cid=4524cab599676>
- [8] BERANOVSKÝ, Jiří, Monika KAŠPAROVÁ, František BERANOVSKÝ, Karel SRDEČNÝ a Jan TRUXA. *Energie z biomasy* [online]. 2007 [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-biomasy>
- [9] MOTLÍK, Jan a Jaroslav VÁŇA. *Biomasa pro energii (2) Technologie: Biom.cz* [online]. 6.2.2002, 19.2.2002 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-enerгии-2-technologie>
- [10] WIKIPEDIE.CZ. *Spalování biomasy: Wikipedie.cz* [online]. 10.1.2011 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Spalov%C3%A1n%C3%AD#cite\\_ref-0](http://cs.wikipedia.org/wiki/Spalov%C3%A1n%C3%AD#cite_ref-0)
- [11] *Biomasa* [online]. [2008] [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.energetickyporadce.cz/uspory-ve-firmach/vyuziti-obnovitelnych-zdroju/biomasa.html>
- [12] MALAŤÁK, Jan. *Spalování tuhých paliv, spalovací zařízení* [online]. [2006] [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://odpady.tf.czu.cz/p/spalpevpal.pdf>
- [13] *Kotle s technologií fluidního spalování: polycomp.cz* [online]. © 1998-2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.polycomp.cz/page.php?lang=cz&f=1fk>

- [14] POHOŘELÝ, Michael a Michal JEREMIÁŠ. *Zplyňování biomasy-možnosti uplatnění: Biom.cz* [online]. 24.11.2010, 7.12.2010 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovani-biomasy-moznosti-uplatneni>
- [15] BEŇO, Zdeněk a Siarhei SKOBLIA. *Souproudé zplyňovací generátory a jejich použití pro výrobu elektrické energie z biomasy: Biom.cz* [online]. 31.1.2011, 27.2.2011 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/souproude-zplynovaci-generatory-a-jejich-pouziti-pro-vyrobu-elektricke-energie-z-biomasy>
- [16] LISÝ, Martin, Marek BALÁŠ, Přemysl KOHOUT a Zdeněk SKÁLA. *Energie z biomasy VII: Možnosti fluidního zplyňování pro kogeneraci* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007 [cit. 2012-04-20]. ISBN 978-80-214-3542-1. Dostupné z: [http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa\\_vii/papers/enbio-vii.pdf](http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa_vii/papers/enbio-vii.pdf)
- [17] STAF, Marek. *Výzkum termické konverze odpadní biomasy na plynná a kapalná paliva: Biom.cz* [online]. 12.1.2005, 17.1.2005 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyzkum-termicke-konverze-odpadni-biomasy-na-plynna-a-kapalna-paliva>
- [18] *Pyrolýza* [online]. [14 January 2010] [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD\\_Biomasa\\_nove/Pdf/?C=S;O=D](http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Pdf/?C=S;O=D)
- [19] JAKUBES, Jaroslav, Helena BELLINGOVÁ a Michal ŠVÁB. *Moderní využití biomasy: Technologické a logistické možnosti* [online]. Česká energetická agentura, 2006 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf>
- [20] *Technologie BTG pro rychlou pyrolýzu* [online]. © 2009 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.btg.cz/cz/o-biomase/rychla-pyrolyza/technologie-btg-pro-rychlou-pyrolyzu>
- [21] MALAŤÁK, Jan a Petr JEVIČ. *Přehled pyrolýzních technologií pro zpracování biomasy* [online]. [2006] [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://odpady.tf.czu.cz/p/pz.pdf>
- [22] ŽÍDEK, Michal. *Energie z biomasy III: Anaerobní digesce zvolených substrátů na laboratorním fermentoru* [online]. Brno, 2004 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa\\_iii/papers/08-Zidek.pdf](http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa_iii/papers/08-Zidek.pdf)
- [23] *Bioplynové stanice* [online]. Tenza, © 2006-2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.tenza.cz/cz/aktivity/energetika/energeticke-stavby/bioplynove-stanice/>
- [24] *Anaerobní technologie* [online]. Bioprofit, © 2007 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://www.bioplyn.cz/at\\_popis.htm](http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm)
- [25] *Bioplynová stanice "suchá" anaerobní fermentace* [online]. [2008] [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.fortexbioplyn.cz/cz/bioplynove-stanice-sucha-fermentace/>
- [26] SCHÖN, Lukáš. *Environmentálně orientovaný podnikatelský záměr pro malý podnik* [online]. Brno, 29.4.2009 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://is.muni.cz/th/99932/esf\\_m/Environmentalne\\_orientovany\\_podnikatelsky\\_zamer\\_pro\\_maly\\_podnik.txt](http://is.muni.cz/th/99932/esf_m/Environmentalne_orientovany_podnikatelsky_zamer_pro_maly_podnik.txt)

- [27] *Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie* [online]. © 2008 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://calla.ecn.cz/atlas/list.php?type=3>
- [28] VOLÁKOVÁ, Pavlína. *Biomasový popel – prvkové složení a možnosti jeho využití* [online]. 26.8.2009 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: [http://www.energie21.cz/archiv-novinek/Biomasovy-popel-%E2%80%93-prvkove-slozeni-a-moznosti-jeho-vyuziti\\_\\_s303x34396.html](http://www.energie21.cz/archiv-novinek/Biomasovy-popel-%E2%80%93-prvkove-slozeni-a-moznosti-jeho-vyuziti__s303x34396.html)
- [29] SOUČEK, Jiří a Ondřej ŠPULÁK. *Dřevěný popel - odpad nebo cenná surovina* [online]. 4.3.2006 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://www.silvarium.cz/lesnicka-prace-c-01-06/dreveny-popel-odpad-nebo-cenna-surovina>
- [30] PROKŠ, Václav. *Plzeňská teplárenská: Největší český blok na biomasu v plzeňské teplárně dodává do sítě* [online]. 22.4.2010 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://www.plzenskateplarenska.cz/index.php?goto=news&sekce=&nid=15&lng=cz>

## Seznam použitých zkratk a symbolů

### Symbole

$M_v$	hmotnost vzorku před vysušením	[kg]
$M_s$	hmotnost vzorku po vysušení	[kg]
$W$	vlhkost dřeva	[%]
$\alpha$	součinitel přestupu tepla	[W/m <sup>2</sup> .K]

### Seznam obrázků

Obr. 1 Průběh fotosyntézy[4] .....	12
Obr. 2 Graf závislosti výhřevnosti biomasy na obsahu vody pro spalování [7] .....	16
Obr. 3 Popel z biomasy [28].....	17
Obr. 4 Spalování paliva na pásovém roštu [12] .....	21
Obr. 5 Spalování se spodním přívodem paliva (kotel CRE) [3] .....	22
Obr. 6 Princip zplyňování [14].....	24
Obr. 7 Autotermní a alotermní zplyňování [14].....	25
Obr. 8 Protiproudý zplyňovač (zleva), souproutý zplyňovač (zprava) [3].....	26
Obr. 9 Schéma zplyňovače se stacionární fluidní vrstvou (zleva) a cirkulující fluidní vrstvou (zprava) [3] .....	26
Obr. 10 Schéma teplárny se zplyňováním dřevní hmoty [1].....	27
Obr. 11 Schéma technologie BTG pro rychlou pyrolýzu [20] .....	29
Obr. 12 Schéma bioplynové stanice s technologií „mokré“ fermentace [23] .....	31
Obr. 13 Schéma bioplynové stanice s technologií „suché“ fermentace [25] .....	32

## Seznam tabulek

Tab. 1 Vlastnosti a rozsah složení biomasy určené ke spalování [3] .....	15
Tab. 2 Výhřevnost různých druhů paliv [8] .....	17
Tab. 3 Teplota deformace popela, teplota měknutí, tavení a tečení [6] .....	18
Tab. 4 Přehled zařízení na spalování biomasy [11].....	20
Tab. 5 Zhodnocení procesu spalování biomasy .....	23
Tab. 6 Investiční náklady na výstavbu teplárny spalující biomasu [27], [30].....	23
Tab. 7 Zhodnocení procesu zplyňování biomasy .....	27
Tab. 8 Zhodnocení procesu pyrolýzy biomasy .....	29
Tab. 9 Popis jednotlivých fází anaerobního procesu [22] .....	30
Tab. 10 Zhodnocení technologie „mokrý“ fermentace biomasy .....	32
Tab. 11 Zhodnocení technologie „suchý“ fermentace biomasy .....	33
Tab. 12 Investiční náklady na výstavbu bioplynové stanice [26], [27].....	33